第34卷 第4期 昆 虫 学 报 Vol. 34, No. 4
1991年11月 ACTA ENTOMOLOGICA SINICA Nov., 1991

小地老虎马氏管细微结构的特点*

陈长琨 朱荣生 王荫长 尤子平
(南京农业大学植保系,南京 210014)

摘要 本文通过光镜和电镜观察,研究了小地老虎 *Agrotis ypsilon* Rottemberg 六龄幼虫和成虫马氏管及管壁细胞的形态特点和排泄方式。幼虫马氏管中不同细胞的分泌方式和亚细胞结构有很多差异,端段和中段的马氏管细胞基内褶发达,并发现在隐肾内的端段细胞中,有一类含有大量的线粒体。在幼虫中,胞吐排泄占有重要地位,并观察到有微绒毛顶部胞吐、微绒毛间胞吐和顶膜胞吐三类。成虫马氏管细胞主要有二种类型,即大型的基本细胞和小型的底细胞,前者为主,后者数量较少。基本细胞中存在复杂的液胞系,排泄以排放液胞为主。

关键词 小地老虎 马氏管 超微结构 排泄作用

昆虫马氏管的细微结构变化极多,已有许多报道(Cochran, 1985; Bradley, 1985),有关鳞翅目昆虫马氏管和隐肾复合体的结构与功能也有过不少论述(Srivastava, 1962; Lhonore, 1976; Ryerse, 1979、1980; 利翠英,1980)。小地老虎 *Agrotis ypsilon* Rottemberg 属全变态昆虫,幼虫和成虫的内部结构存在许多差异,马氏管也不例外。近期研究认为,全变态昆虫在变态期间,幼虫马氏管的解体和成虫马氏管重组的变化过程是受到蜕皮激素控制的(Berendes 等, 1971; Byers, 1971; Bradley 等, 1981)。鉴于上述情况,我们拟以小地老虎为代表,研究夜蛾科幼虫和成虫马氏管的结构特点,为研究马氏管在变态时期的结构变化以及与蜕皮激素的关系提供细胞学基础。本文报道的是小地老虎排泄系统的超微结构与功能研究中的一部分内容。

材 料 与 方 法

一、供试昆虫

小地老虎幼虫置于18—25℃条件下生长发育,四龄以前群体饲养,喂三叶草;四龄以后单头饲养,喂半人工饲料。

二、光镜观察

试虫用 Bouin's 液固定,在不同浓度梯度的酒精中逐级脱水,二甲苯透明,石蜡包埋。切片厚度5—7微米,苏木精-伊红双染,在奥林巴斯显微镜下观察并拍照。

三、电镜观察

将活体解剖取出的马氏管用2%戊二醛及1%的锇酸双固定。用 Epon-812 包埋。超薄切片的厚度约60纳米。再用醋酸铀和柠檬酸铅染色。在 JEM-100CXII 型透射电镜下观察。

本文于1989年3月收到。
* 国家自然科学基金资助项目。

为便于形态描述，把管壁细胞层划分为三区，靠管腔一侧为顶区，靠血腔一侧为基区，其余为中区。

结果和分析

一、幼虫马氏管的组织学与细胞学特征

小地老虎幼虫的马氏管外观为乳白色细长管，共6根，以3根为一组，先后经两次并合后，在基段并成左右两根，分别与两根公共管相连接，通入后肠前部。所有马氏管均平行地分布在消化道四周，先向前伸展到中肠前部，再折回向后延伸，前端发生曲折盘旋，端部插入直肠肠壁与围膜之间，形成隐肾管。

马氏管从基部开始，可以分为膨大的公共管，较短的基段，细长折叠的中段，以及插入隐肾的端段四部分(图1)。

1. 公共管　组织结构与后肠相似，最外层为底膜，可伸入细胞顶端，与内膜接近；中间为单层扁平的细胞层，细胞质致密，内层为较厚的内膜。管壁细胞突入到管腔中，管外有多层环肌，收缩时可以并闭管腔，与幽门的结构相似。说明公共管是由后肠向外延伸形成的。与后肠同起源于外胚层(图版I:1)。

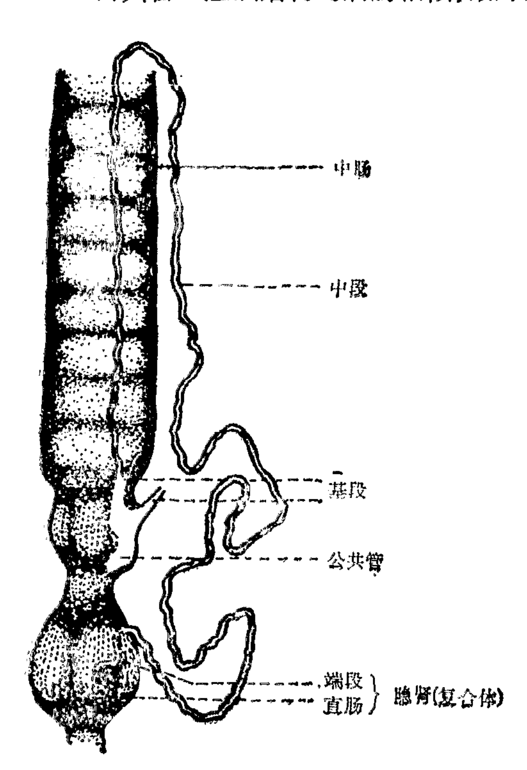


图1　小地老虎幼虫的马氏管

2. 基段　是连接公共管的分支部分，管腔较粗且短，管壁细胞多突入管腔中。马氏管的横切面可见到15—20个细胞核，细胞顶区微绒毛短，排列稀疏，其中有的内含线粒体，说明顶区的运输功能较小，但在微绒毛基部有较多的圆形或椭圆形线粒体(图版I:2)。

3. 中段　是马氏管中最长的一段。细胞形态分化较大，可以观察到数种类型的细胞(图版I:3—8；II:9、10)，它们之间的微绒毛疏密程度及排泄方式均有很大差异。但前端存在一种较小的细胞，基区内褶浅，微绒毛细而短，内中无线粒体，顶区有较小的圆形液泡排入管腔(图版I:8)。

中段管壁细胞的最大特征，是具有多种形式的胞吐现象，释出的液胞形成管腔中原尿的重要组成部分，最后转变为结晶颗粒。

4. 端段　本段处于围肾膜下，在膜外可见到弯曲盘旋的管子。管壁细胞的形态与中段的相似，亦有多种胞吐现象。还有一类细胞，在中区充满线粒体，顶区无微绒毛，基区的基膜内褶亦不明显(图版I:3、4)。

二、幼虫马氏管细胞的多种胞吐形式

在幼虫马氏管的中段前端细胞中，有下列三种胞吐形式，并有相应的细胞结构。

1. 微绒毛顶部胞吐　细胞中区含有较多线粒体。胞吐时先由微绒毛膨大，然后逐渐增大，形成圆形或椭圆形排泄囊，囊体小于细胞体，然后脱离胞体，排入管腔(图版 I:5、6)。

2. 微绒毛间胞吐　细胞基区基膜内褶较深，顶区微绒毛较密内含线粒体，中区亦有较多的线粒体。排泄囊呈圆形或椭圆形，自众多的微绒毛间排出，囊体略小于细胞体(图版 I:7)。

3. 顶膜胞吐　细胞基区基膜内褶较深，广泛的内褶在细胞基部形成大面积的细胞外隙，一直延伸至细胞顶部微绒毛之下，致使马氏管管腔与血腔之间仅以细胞膜和底膜相隔。顶区微绒毛致密，中区有较多的线粒体。排泄囊呈不规则形，囊体超过细胞体若干倍，由顶部排入管腔，排放的物质与细胞质无明显区别，说明排放囊泡时细胞体积增加极为迅速，排放量远远超过前两类(图版 II:9、10)。

三、成虫期马氏管组织学与细胞学特点

小地老虎成虫的马氏管外形与幼虫的相似，亦为乳白色，共 6 根，但端段游离在腔中，不与直肠形成隐肾复合体结构。

成虫的马氏管端段与中段的细胞形状和排列方式不同，从纵切面可以看到端段细胞排列疏密不等，细胞的外形也很不一致，有的细胞呈长方形排成带状，有的呈三角形排成锯齿状，有的部位大小细胞相间排成波纹状，有些部位甚至缺少细胞，仅有一层底膜，而中段的细胞大小一致，排列也较整齐(图版 II:11、12)。

电镜下可以看到马氏管端段存在两种类型的细胞：一种是基本细胞，其特点为顶区微绒毛致密，内具棒状线粒体，基区基膜内褶发达，中区有大小不等的液泡，泡内有多种内含物，核位于细胞中区的上方与顶区的微绒毛相接近(图版 II:14)。另一种为底细胞，紧接围膜，其特点为体积较小，不含液泡，基区基膜内褶浅，微绒毛内线粒体极少或无(图版 II :13)。在马氏管中段这种底细胞极少。成虫的排泄方式与幼虫不同，未发现在幼虫中普遍出现的胞吐现象，仅观察到液泡排放形式(图 II:15)。

讨　　论

1. 通过超微结构的观察，可见小地老虎幼虫在排泄原尿时，胞吐形式占有重要地位，从端段到中段都有这种排泄形式，排出的物质与细胞质无明显差别，显然有利于快速排放大分子物质，这可能与小地老虎幼虫的解毒代谢能力较强有关。在管腔中原尿如何转化为尿盐结晶还不清楚。观察结果表明，从马氏管端段开始在腔内即有结晶物质出现，并随液流不停地向基段移动，这涉及到管腔中水解酶的代谢作用和有用物质(包括水分、盐类和有机物质)的回吸作用。但这些尚难从超微结构中得到解释，尤其是对于水分的分离、结晶的形成及 pH 值的改变等一系列过程，都需要通过生化分析才能搞清。

2. 小地老虎幼虫马氏管细胞形态和超微结构与鳞翅目其它昆虫(如弄蝶、大菜粉蝶、蓖麻蚕等)基本相同，但有些结构是前人在研究中未曾报道过的。例如隐肾中端段细胞内存在的大量线粒体；三角形的管壁细胞的底角常常向两侧延伸，致使在某些区域分隔，管

腔与血腔间只有围膜与细胞膜形成的薄层。这些结构无疑可提高代谢物直接穿透进入管腔的效率，可能在隐肾内形成特殊的回吸功能。

3. 小地老虎幼虫和成虫马氏管细胞的基本细微结构是相同的，但是因小地老虎幼虫和成虫的食性不同，必然会造成它们的马氏管细胞结构和功能的差异。如成虫马氏管的基本细胞内存在复杂的液泡系。液泡排泄是一种重要的排泄方式；而在幼虫马氏管的各种类型细胞内液泡较少，胞吐作用却是一种重要的排泄方式。

参 考 文 献

利翠英 1980 蓖麻蚕幼虫马氏管的超微结构。中山大学昆虫研究所专刊第二号。

Barendes, H. D. et al 1971 Ecdysone-related changes of the nuclear and cytoplasmic level of Malpighian tube cell in *Drosophila*. *J. Insect Physiol.* **17**: 2337—50.

Bradley, T. J. et al 1981 5-TH stimulated mitochondrial movement and microvillar growth in the Malpighian tubes of insect *Rhodonius plolixus*. *J. Cell Sci.* **49**: 139—61.

Bradley, T. J. 1985 "The excretory system", in "Comprehensive insect physiology biochemistry and pharmacology". Chapter 10, ed. by G. R. Kerkut and L. I. Gilbert, Vol. 4, pp 421—427. Pergamon Press.

Byers, J. R. 1971 Metamorphosis of the perirectal Malpighian tubes in the mealworm I. Histology and histochemistry. *Canad. J. Zool.* **49**: 823—32.

Cochran, D. G. 1985 'Excretory systems' in 'Fundamentals of Insect Physiology. ed by Blum, M. S. pp. 94—106.

Lhonore, J. 1976 Morphology and histochemical data on the *Pieris brassicae*. *Ann. Sci. N. Z.* **18**: 275—93.

Ryerse, J. S. 1979 Developmental changes in Malpighian tube cell structure. *Tissue cell* **11**: 533—51.

Ryerse, J. S. 1980 The control of Malpighian tube developmental physiology by 20-hydroxyecdysone and juvenile hormone. *J. Insect Physiol.* **26**: 449—57.

Srivastava, P. N. 1962 Physiology of excretion in the larvae of *Coreyra cephalonica* *J. Insect Physiol.* **8(3)**: 323—32.

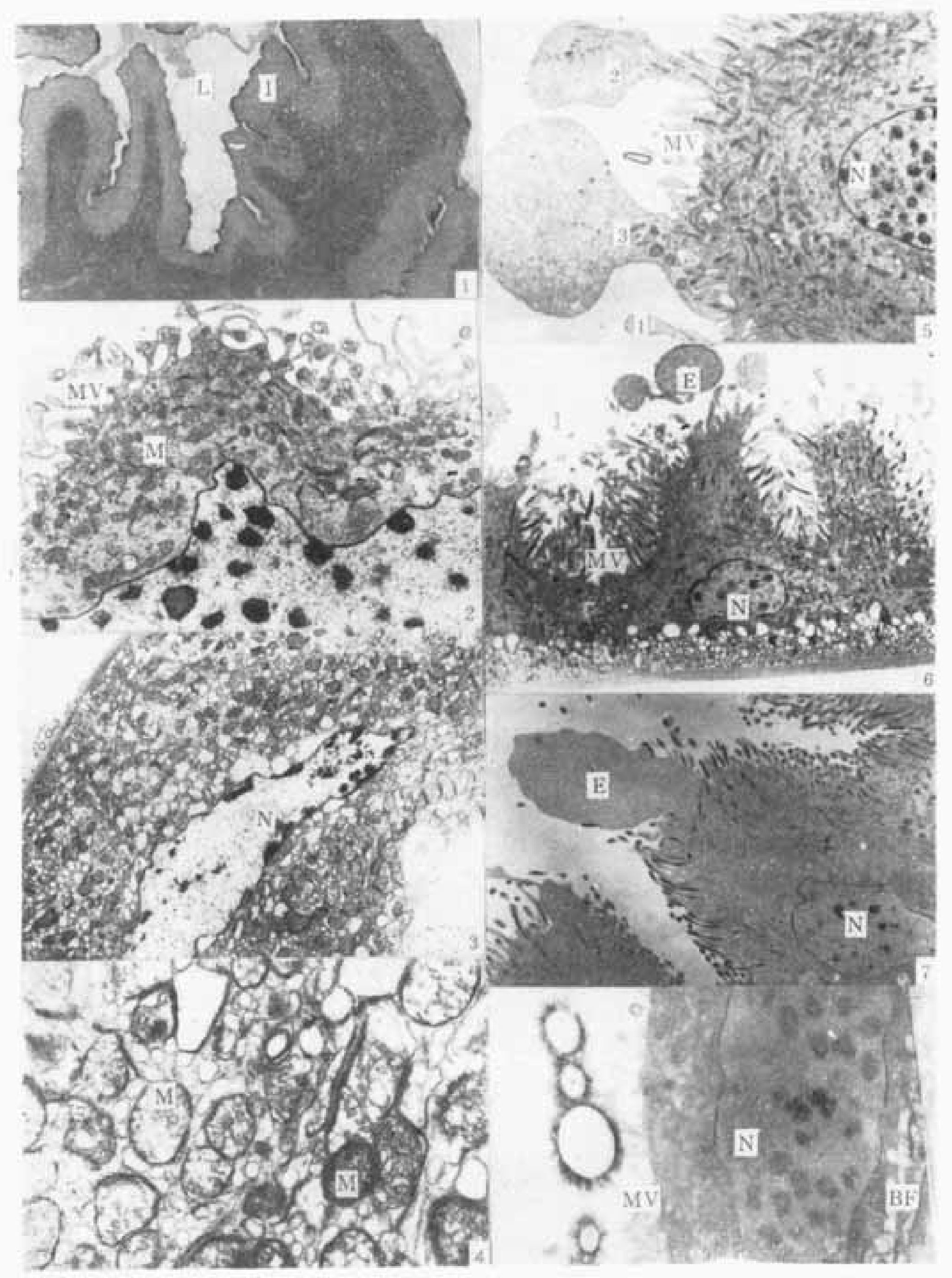
ULTRASTRUCTURE OF THE MALPIGHIAN TUBULES OF BLACK CUTWORM *AGROTIS YPSILON* (ROTTEMBERG)

Chen Chang-kun Zhu Rong-shen Wang Yin-chang You Zi-pin

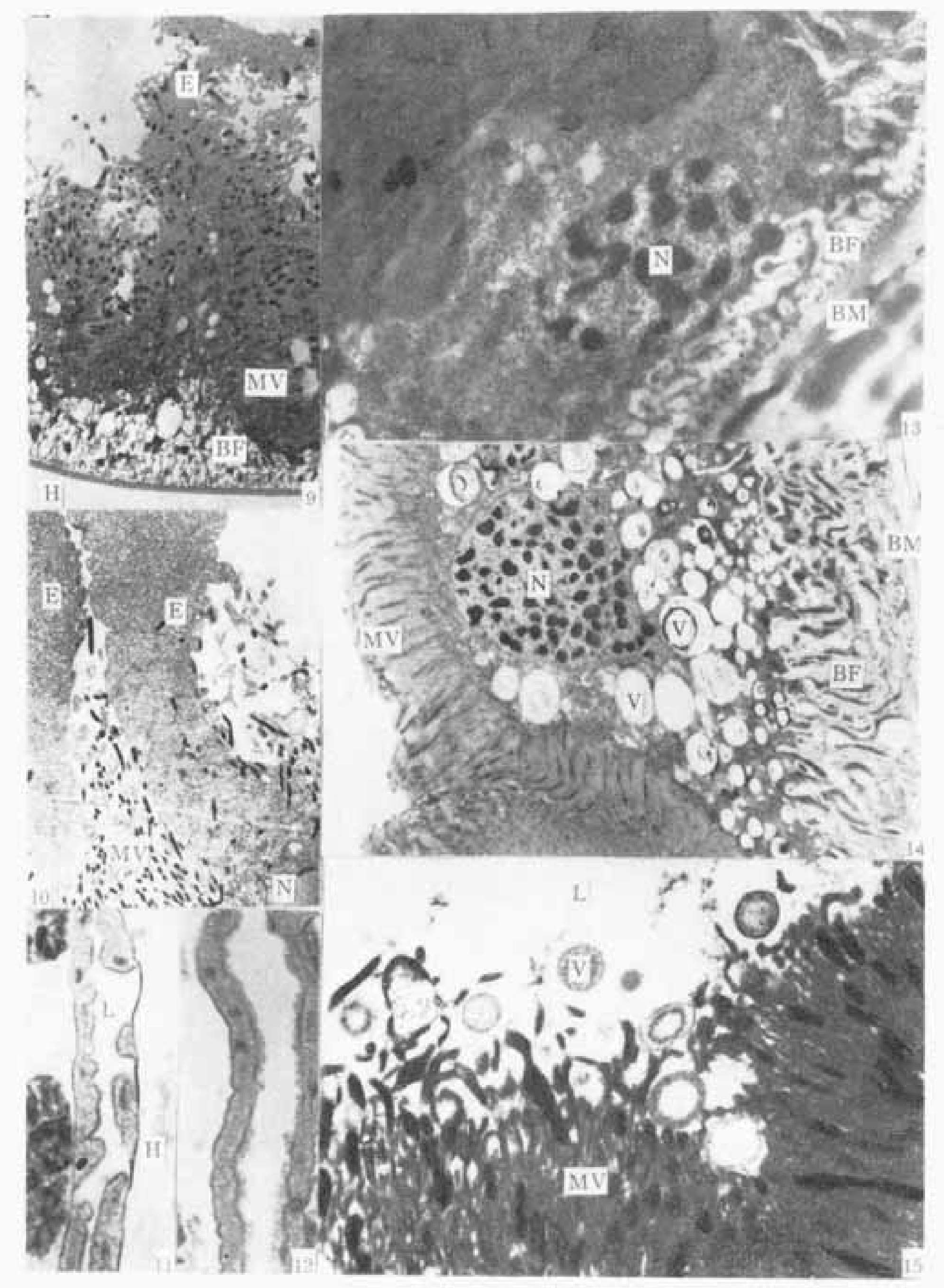
(Department of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210014)

The ultrastructure and excretory mechanism of Malpighian tubules of the black cutworm *Agrotis ypsilon* (Rottemberg) were studied with electron microscope. It was found that there are several kinds of tubule cells which are different in cytoarchitecture and secretory activity. Special "mitochondrial" type cells were found in the cryptonephridial tubules. They carry out exocytosis as the important excretory mechanism and are described for the first time. In the other tubule cells three types of exocytosis were found; they include microvillus exocytosis, multi-microvilli exocytosis and apical membrane exocytosis. In adult Malpighian tubule the cells are similar to those of the larvae, but can only be distinguished as two types including the large primary cells and the small basal cells. Vacuole formation is an important mechanism of excretion of these cells.

Key words *Agrotis ypsilon* (Rottemberg)——Malpighian tubule——ultrastructure——excretion



1．公共管的细胞，示细胞及内膜（I）伸向管腔（L）。×700　2．基段细胞，微绒毛（MV）稀疏且短，基部细胞质充满线粒体（M）。×9000　3．端段的一种细胞，质内存在大量的线粒体，顶端无微绒毛，基膜内褶不明显。×3500　4．图 3 的局部放大，示质内线粒体（M）。×13000　5．中段细胞，示排泄囊在微绒毛顶端的膨大形成过程，1→2→3。×12000　6．同图 5，示排泄囊（E）脱离细胞，排入管腔。×4300　7．中段细胞的微绒毛之间排出排泄囊（E）。×5800　8．中段的一种小型细胞，示纤细微绒毛顶端的排泄液泡及核。×7000



9.示顶端排泄囊延展至管腔以及深深的基膜内褶延伸至微绒毛基部。×3500　10.中段细胞，大型排泄囊无特定形状，正从细胞顶膜出泡。×3500　11.成虫马氏管端段的纵切面，细胞排列呈波纹状。×340　12.成虫马氏管中段的纵切面，细胞排列整齐。×340　13.成虫底细胞，质内无液泡，细胞较小。×11000　14.成虫基本细胞，微绒毛密集，细胞质内较多的液泡。×4500　15.液泡正从基本细胞微绒毛顶端排入管腔。×9300

E 排泄囊　BF 基膜内褶　BM 底膜　M 线粒体　H 血腔　L 管腔　V 液泡　MV 微绒毛　N 细胞核